

Aaro Ruohola

# UUSIUTUVAN ENERGIAN LISÄYSPOTENTIALIAALI SUOMEN SÄHKÖN- JA LÄMMÖNTUOTANNOSSA

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
Kandidaatintyö  
12.2019

# TIIVISTELMÄ

Aaro Ruohola  
Uusiutuvan energian lisäyspotentiaali Suomen sähkön- ja lämmöntuotannossa  
Tampereen yliopisto  
Ympäristö- ja energiatekniikka  
Kandidaatintyö  
Joulukuu 2019

---

Tässä työssä tutkitaan kirjallisuuden ja verkkomateriaalin avulla uusiutuvan energian lisäyspotentiaalia Suomen sähkön- ja lämmöntuotannossa. Uusiutuvan energian lisääminen Suomen sähkön- ja lämmöntuotannossa on välttämätöntä Euroopan Unionin- ja kansallisten ympäristöta-voitteiden sekä ilmastomuutoksen takia.

Suomen sähköntuotannosta suuri osa on jo hiilidioksidivapaata ja uusiutuvalla energialla tuotettua. Suurin uusiutuvan energian lisäyspotentiaali Suomessa on lämmöntuotannossa ja tarkemmin kaukolämmöntuotannossa. Uusiutuvan energian lisäämiseksi on tehty monia erilaisia tutkimuksia, joiden ydinsisältö on pääosin sama. Tutkimusten ja tilastotietojen avulla voidaan muodostaa kokonaiskuva siitä, minkälainen lisäyspotentiaali Suomen sähkön- ja lämmöntuotannossa on.

Suomen sähköntuotannon uusiutuvan energian lisäyspotentiaali on pieni, mutta tuulivoiman ja aurinkosähkön osuutta voidaan lisätä, kuten myös biomassan osuutta lauhdesähkötuotannossa. Suomen lämmöntuotannosta suuri osa tuotetaan hiilivoimalla ja Helsingin lämmöntuotannosta jopa puolet perustuu hiilivoimaan. Nopein ison mittakaavan tapa lisätä uusiutuvan energian osuutta lämmöntuotannossa on biomassapohjaisten voimalaitosten määrän lisääminen. On teknisesti mahdollista, että Suomen sähkön- ja lämmöntuotanto toimisi jopa kokonaan uusiutuvalla energialla, mutta se vaatii isoja investointeja uusiin voimalaitoksiin ja vanhojen voimalaitosten konvertoimiseen biomassapohjaisiksi.

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO.....	1
2. UUSIUTUVAT ENERGIALÄHTEET SUOMEN SÄHKÖN- JA LÄMMÖNTUOTANNOSSA.	3
2.1 Suomen sähkön- ja lämmöntuotanto .....	3
2.2 Uusiutuvien energialähteiden käyttö Suomessa.....	4
2.3 Uusiutuvan energian tukimekanismit .....	9
2.3.1 Taloudelliset tukimekanismit .....	9
2.3.2 Päästökauppa .....	11
3. AJANKOHTAISIA SKENAARIOITA UUSIUTUVAN ENERGIAN LISÄÄMISESTÄ.....	13
3.1 Vaihtoehdot Helsingin kaukolämmön tuotannoksi .....	13
3.2 Neo-Carbon Energy .....	15
3.3 Low Carbon Finland 2050.....	17
3.3.1 Hankkeen eri skenaarit .....	17
3.3.2 Sähkön- ja lämmöntuotannon rakenteet tulevaisuudessa .....	18
4. POTENTIAALI JA HAASTEET UUSIUTUVIEN ENERGIALÄHTEIDEN LISÄÄMISESSÄ	20
4.1 Haasteet sähköntuotannossa .....	20
4.1.1 Tuulivoiman haasteet .....	21
4.1.2 Vesivoima .....	21
4.1.3 Aurinkosähkö.....	21
4.2 Haasteet lämmöntuotannossa .....	22
4.3 Biomassan käytön lisäämisen haasteet.....	23
4.3.1 Kotimaan biomassan tuotanto.....	23
4.3.2 Kansainvälinen näkökulma .....	23
4.3.3 Energiakasvien viljely.....	24
5. YHTEENVETO .....	25
LÄHTEET .....	27

# 1. JOHDANTO

Ilmaston muutoksen hillitseminen, energian hankinnan turvallisuus ja hajautetun tuotannon edistäminen ovat lisänneet uusiutuvien energialähteiden merkitystä valtioiden energiapolitiikassa. Euroopan unioni on asettanut tavoitteekseen vähentää kasvihuonekaasupäästöjä yli 80 %:lla vuoteen 2050 mennessä verrattuna 1990-luvun kasvihuonepäästöihin [1]. Tämä edellyttää Euroopan unionin jäsenmaita lisäämään uusiutuvien energialähteiden osuutta energian loppukäytöstä 30 %:lla ja uusiutuviin perustuvaa sähköä 50 %:lla vuoteen 2050 mennessä [2].

Euroopan Unioni määrittelee tavoitteensa uusiutuvalle energialle suhteessa kokonaisloppukulutuksen. Tämä osuus Suomessa oli vuonna 2017 Tilastokeskuksen ennakkotiedon mukaan jopa yli 40 prosenttia. Suomen tavoite uusiutuvalle energialle on 38 prosenttia energian kokonaisloppukulutuksesta vuonna 2020, jonka Suomi saavutti ensimmäisen kerran jo vuonna 2014. Tämä osuus on toiseksi suurin EU-maiden joukossa. [3] Uusiutuvaksi energiaksi lasketaan tässä työssä bioenergia, vesivoima, tuulivoima ja aurinkoenergia.

Edellä mainittujen ilmastotavoitteiden pohjalta on tehty monia erilaisia tutkimuksia siitä, miten ilmastotavoitteisiin päästään. Nämä erilaiset tutkimukset esittävät omia skenaarioitaan Suomen energian tuotannon tilanteesta tulevana vuosina, esimerkiksi vuonna 2050, johon Euroopan Unioni on asettanut ilmastotavoitteensa. Kaikissa tutkimuksissa yhteisenä tekijänä on vähähiilisiin ja vihreisiin teknologioihin siirtyminen energian tuotannossa. Näitä tutkimuksia ovat esimerkiksi Neo Carbon Energy ja Low Carbon Finland 2050 [4][5].

Tutkimuskysymyksiä ovat:

1. Mikä on uusiutuvan energian lisäyspotentiaali Suomen sähkön- ja lämmöntuotannossa?
2. Mitkä ovat suurimpia esteitä uusiutuviin energialähteisiin siirtymisessä?
3. Miten uusiutuvan energian lisääminen tulee muuttamaan energiajärjestelmää?

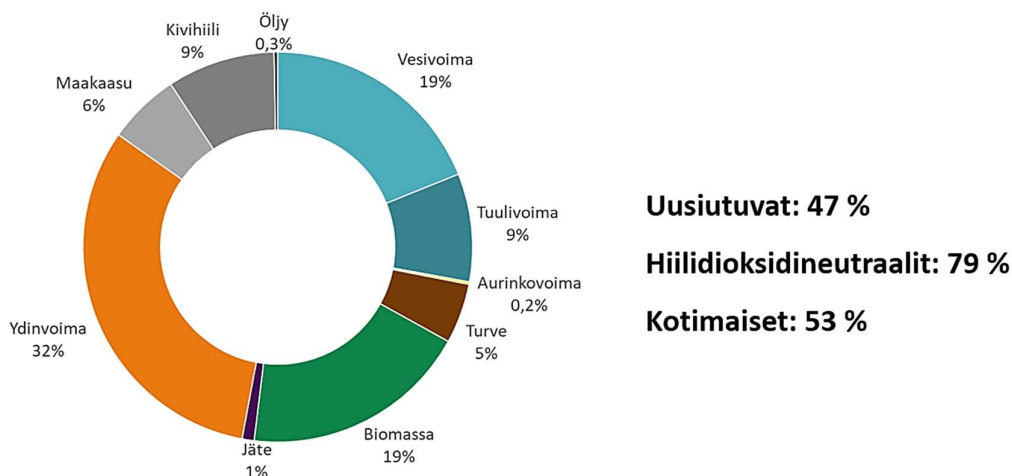
Ensin työssä käydään lyhyesti läpi Suomen sähkön- ja lämmöntuotannon rakenne nyky-päivänä. Sen jälkeen esitellään uusiutuvien energialähteiden nykyisiä sähkön ja lämmön tuotantomääriä Suomessa sekä uusiutuvaa energiaa koskevia poliittisia toimia, jonka jäl-keen tarkastellaan miten nämä mahdollisesti muuttuvat tulevaisuudessa. Tämän jälkeen tarkastellaan muutamia eri skenaarioita mitä tämän tutkimuksen aiheesta on jo tehty. Tämän jälkeen pohditaan, minkälainen Suomen sähkön- ja lämmöntuotannon rakenne on tulevaisuudessa ja mitkä ovat isoimpia haasteita uusiutuvien energialähteiden käytön lisäämiselle. Suurimpia haasteita tarkastellaan sähköntuotannossa tuuli-, aurinko- ja ve-sivoiman osalta ja lämmöntuotannossa biomassapohjaiseen tuotantoon siirtymisen osalta. Lopuksi työssä käsitellyt aihealueet kootaan yhteenvetoon.

## 2. UUSIUTUVAT ENERGIALÄHTEET SUOMEN SÄHKÖN- JA LÄMMÖNTUOTANNOSSA

Tässä työssä uusiutuvalla energialla tarkoitetaan biomassalla, vesivoimalla, tuulivoimalla ja aurinkovoimalla tuotettua energiaa. Suomessa uusiutuvien energialähteiden osuus energian kokonaiskulutuksesta on yksi suurimmista maailmassa. Tälle suurin syy on siinä, että Suomi on ottanut ensimmäisten joukossa käyttöön monia vaihtoehtoisia energiantuotantomuotoja.

### 2.1 Suomen sähkön- ja lämmöntuotanto

Suomessa tuotetaan sähköä todella monipuolisesti monella eri tavalla, kun taas lämmöntuotanto rajoittuu Suomessa kaukolämmön tuotantoon joko yhteistuotantona sähkön kanssa (englanniksi CHP) tai pelkästään lämmöntuotantoon suunnitelluissa polttolaitoksissa. Moni voimalaitoksista on jatkuvasti käytössä täydellä teholla, kun taas joidenkin voimalaitosten käyttö vaihtelee paljon polttoaineen ja kysynnän mukaan. Tasainen jatkuva sähköntuotanto tarvitsee rinnalleen säätövoimaa, jonka avulla tuotantoa säädetään vastamaan kysyntään.

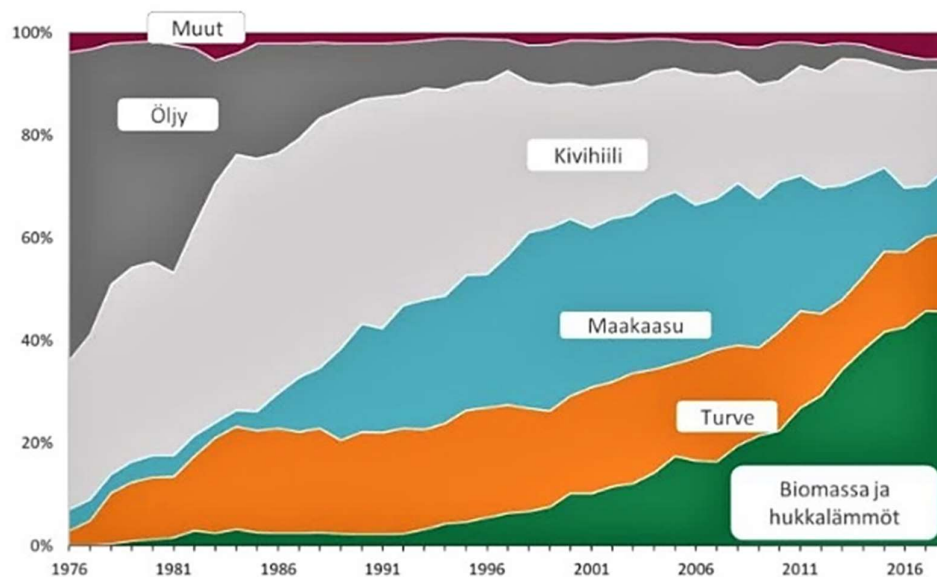


**Kuva 1.** Suomen sähköntuotanto energialähteittäin vuonna 2018. [6]

Kuten kuvasta 1. nähdään, Suomessa tuotetaan sähköä suurilta osin ydinvoimalla, biomassaa polttamalla tai vesivoimalla. Kuvasta nähdään myös, että itseasiassa Suomen sähköntuotannosta enää 21% prosenttia ei ole hiilidioksidineutraalia. Tähän prosenttiin kuuluvat maakaasu, kivihiili, öljy ja turve. Tuuli- ja aurinkovoimalla tuotetun sähkön määrä on kasvanut viime vuosina ja se tulee varmasti jatkamaan kasvuaan. Suomessa

siis sähköntuotanto on jo suurilta osin hiilidioksidineutraalia. Suurin uusiutuvan energian lisäyspotentiaali Suomessa löytyykin lämmöntuotannosta.

Suomessa kaukolämpöä tuotetaan yhteistuotannossa sähkön kanssa tai eri polttoaineita polttamalla juuri siihen tarkoitetuissa polttolaitoksissa. Yhteistuotannossa on tarkoituksena muuntaa lämmöksi se osa polttoaineen energiasta, jota ei saada muunnettua sähköksi. Yhteistuotantolaitoksia käytetään lämmön tarpeen mukaan eli ne käyvät yleensä maksimilla talvisin, kun lämmön tarve on suurin. Tähän aikaan osuvat myös sähkön vuositteiset kulutushuiput, joka tekee yhteistuotannosta todella energiatehokasta.



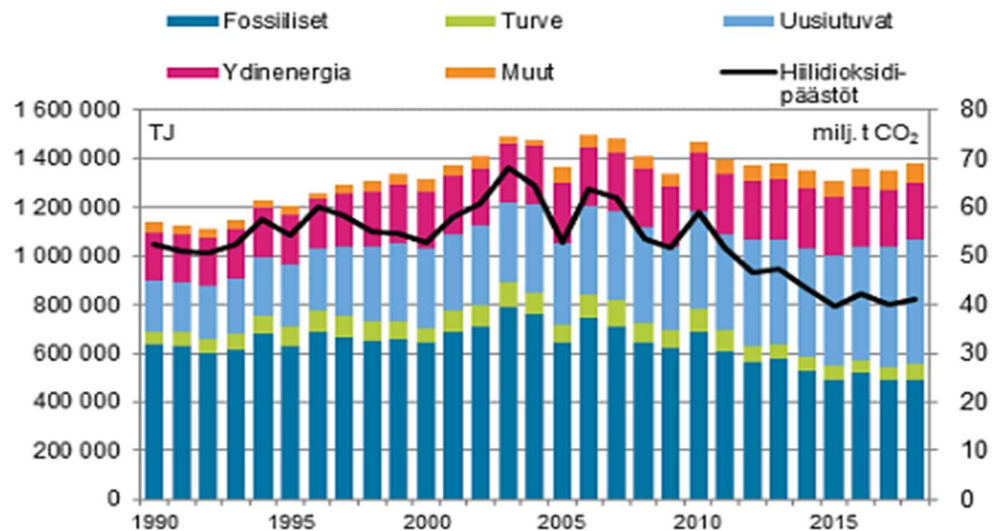
**Kuva 2.** Suomen kaukolämmön hankinnan energialähteet. [7]

Aikanaan Suomen tärkeimpiä polttoaineita kaukolämmöntuotannossa olivat kivihiili ja öljy, mutta niiden rinnalle ovat nousseet maakaasu, turve ja biomassa sekä hukkalämmöt. Tänä päivänä kaukolämmön hankinnasta noin 40 % tulee biomassasta ja hukkalämmöstä, kuten kuvasta 2 nähdään. Öljyä ei enää juurikaan käytetä ilmastoystävällisistä syistä ja samoista syistä myös kivihiilen ja maakaasun polttoa ollaan ajamassa alas. Todennäköisesti myös turpeen polttaminen loppuu tulevaisuudessa. Uusiutuvan energian osuus lämmöntuotannosta tulee kasvamaan sitä mukaa, kun voimalaitoksia muutetaan polttamaan uusiutuvia polttoaineita, kuten esimerkiksi puupohjaisia polttoaineita. Kaukolämmössä onkin suurin lisäyspotentiaali uusiutuvalle energialle Suomessa.

## 2.2 Uusiutuvien energialähteiden käyttö Suomessa

Suomessa energian käyttö on suurta ja teollisuus on hyvin riippuvainen fossiilisista polttoaineista, joiden tuontihintojen sekä toimituskulujen vaihtelu on suuri riski Suomen ener-

gian toimitusvarmuudelle. Suomen energian toimitusvarmuuden parantamiseksi yksi yksinkertaisin vaihtoehto on ollut omien uusiutuvien energialähteiden tehokkaampi hyödyntäminen, jonka seurauksena Suomeen on syntynyt todella monipuolinen energianhankintarakenne. Tästä huolimatta joidenkin uusiutuvien energialähteiden kehitys on ollut viime vuosina hidasta, kuten esimerkiksi tuulivoiman. [8]



**Kuva 3.** Energian kokonaiskulutus ja hiilidioksidipäästöt Suomessa 1990-2018 [3]

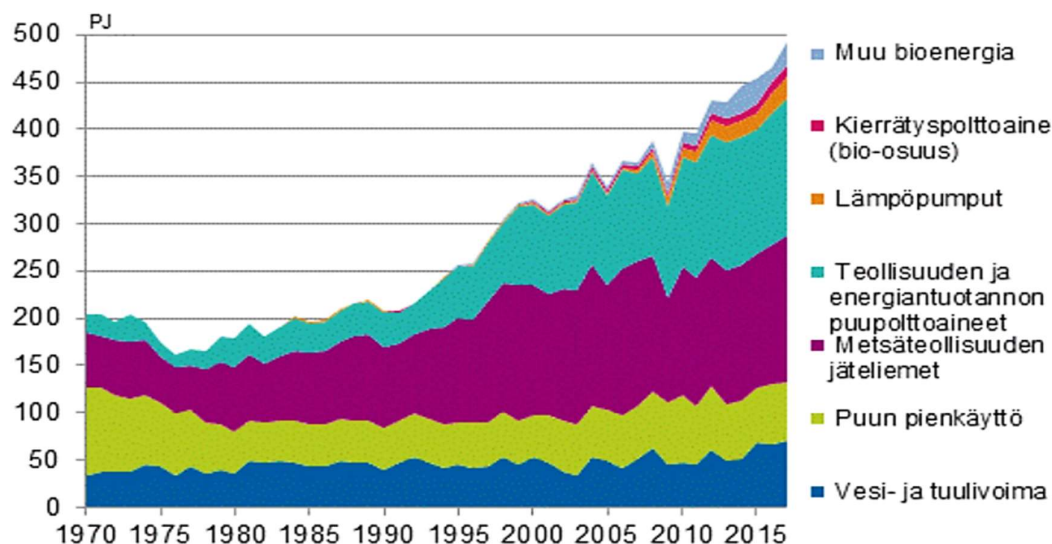
Energian kokonaiskulutus oli kuvan 3 perusteella Suomessa vuonna 2018 1,38 miljonnaa terajoulea tai 385 terawattituntia. Tästä 37 prosenttia tuotettiin uusiutuvilla energialähteillä [3]. Seuraavissa luvuissa esitellään tämän työn viitekehyksessä olevat uusiutuvan energian tuotantomuodot.

## BIOENERGIA

Bioenergia on Suomen merkittävin uusiutuvan energian lähde ja sillä tuotetaan niin sähköä kuin lämpöäkin. Sähkön- ja lämmöntuotannossa bioenergiaa hyödynnetään suorassa poltossa biomassana tai kaasutettuna biomassana sekä biokaasuna.

Vuonna 2012 puupolttoaineilla tuotettiin Suomessa 92 Terawattituntia eli lähes neljännes energian kokonaiskulutuksesta. Tästä suurin osa, 52 Terawattituntia, tuotettiin metsäteollisuuden puunkäytön sivuvirroista eli mustalipeästä, kuorista, puruista ja muista tuotannon sivuvirroista. Näiden ohella käytetään energiantuotannossa myös metsähaketta eli hakkuutähteitä, pienläpimittaisia rankoja ja kantoja, joilla tuotettiin 15 Terawattituntia (TWh). Myös puunpienkäyttö Suomessa on huomattavaa, koska sillä tuotetaan 18 Terawattituntia (TWh). Pieni määrä 1-2 Terawattituntia (TWh) bioenergian osuudesta energian kokonaiskulutuksesta tulee maatalouden biomassasta [9]

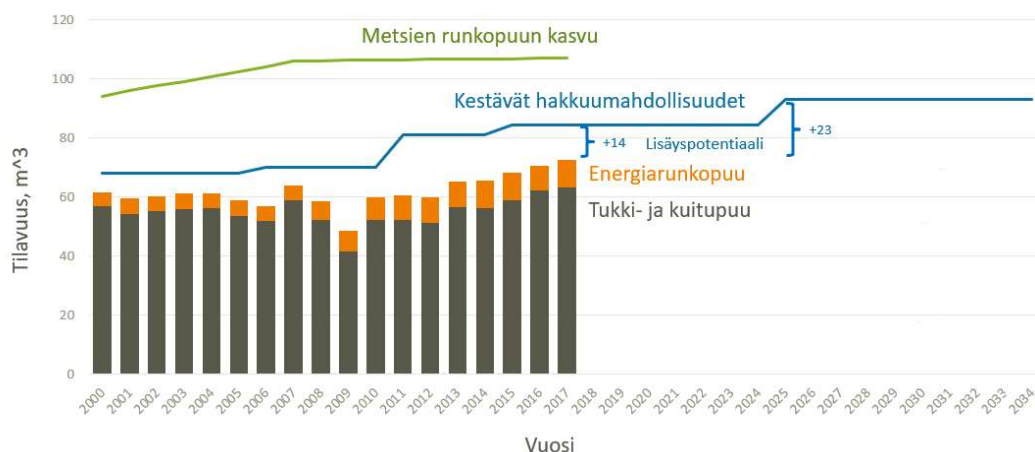




**Kuva 4.** Uusiutuvan energian käyttö 1970-2017. [10]

Suurin osa bioenergialla tuotetusta energiasta käytetään Suomessa teollisuuden ja asutuskuskuksien lämmittämiseen. Suurin puuenergian käyttäjä on metsäteollisuus, joka hyödyntää energiantuotannossaan metsähaketta ja prosesseissaan syntyviä puupohjaisia sivutuotteita ja jäteliemiä, kuten mustalipeää. Vaikka metsäteollisuus käyttää itse suurimman osan puupohjaisista energialähteistä, jää niitä myös alueellisille energialaitoksille ja kiinteistöille polttoaineiksi. Metsäteollisuuden jäteliemien osuus koko uusiutuvan energian käytöstä nähdään hyvin kuvasta 4.

Usein mediassa näkee väitteitä metsienhakkuun kestäättömyydestä ja hiilinielujen tuhoamisesta. Suomen metsien hakkuu on kuitenkin kestäväällä pohjalla, joka käy ilmi Metsäteollisuus ry:n tilastoista. Kuvasta 5 nähdään, että Suomella olisi jopa varaa lisätä metsien hakkuuta kestävästi. Suomella on metsävaroja noin 2,5 miljardia kuutiometriä ja metsää kasvaa vuosittain lisää noin 110 miljoonaa kuutiometriä [11].

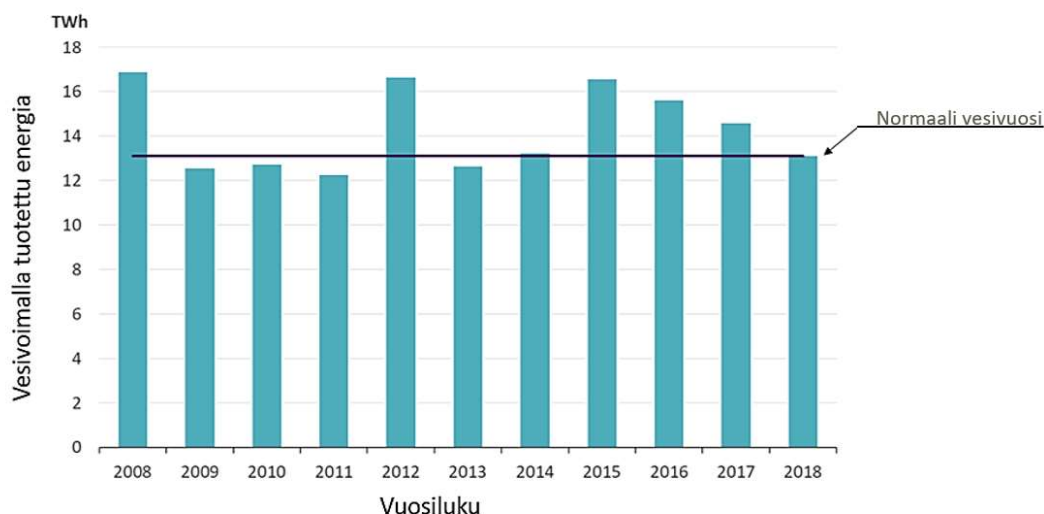


**Kuva 5.** Suomen metsien vuosittainen kasvu ja hakkuu. [11]

Kaukolämpölaitoksista noin puolet on CHP-laitoksia eli yhdistettyä sähkön ja lämmön tuotantoa [8]. Lämmön sijaan nämä laitokset voivat tuottaa myös teollisuushöyryä teollisuuden tarpeisiin. Bioenergian-tuotannon energiatuotantoprosessit ovat itsessään hyvin perinteistä teknologiaa ja niitä on hyödynnetty energiantuotannossa jo pitkään. Energiantuotannossa uutta on kasvava uusiutuvien energialähteiden käyttö polttoaineena ja vanhoja polttolaitoksia pyritään konvertoimaan käyttämään uusiutuvia energialähteitä. Viime vuosina bioenergian osuutta ovat merkittävästi lisänneet kauko- ja aluelämpölaitokset [12].

## VESIVOIMA

Vesivoimalla tuotetaan Suomessa pääsääntöisesti sähköä. Vesivoiman tuotantomäärät ovat erittäin riippuvaisia vesitilanteesta, joka aiheuttaa vuosittain vesivoimalla tuotetun sähkön määrän vaihtelun [3]. Pohjoismaisen vesivoiman tuotantomäärät voivat vaihdella yli 70 Terawattitunnilla noin 140:sta 215:sta Terawattituntiin riippuen vesitilanteesta [13]. Vuonna 2018 vesivoimalla tuotettiin Suomen energiasta 13,1 TWh, joka oli 10 % vähemmän kuin edellisenä vuonna [3]. Vesivoiman vuoden 2018 alhaisen energiantuotantomäärän selittää vuoden 2018 todella kuiva kesä ja vesistöjen pintojen lasku. Kuvasta 6 nähdään, miten vesivoiman vuotuiset tuotantomäärät vaihtelevat.



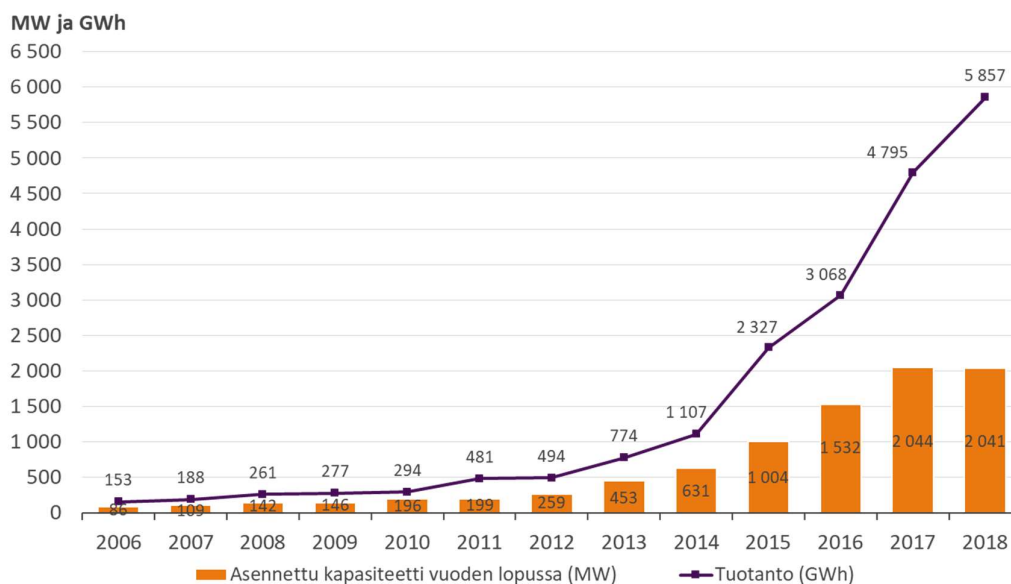
**Kuva 6.** Vesivoiman vuosittainen tuotanto Suomessa [6]

Vesivoiman merkitys Suomen sähköntuotannolle on suuri, koska vesivoiman säätöominaisuuksilla voidaan hyvin vastata hetkittäisiin kulutushuippuihin. Vesivoiman säätöominaisuudet ovat hyvät, koska vesistöjen säännöstely on helppoa ja sitä myötä vesivoiman tuotantomääriä voidaan helposti säätää. [13]

## TUULIVOIMA

Tuulivoima on yksi puhtaimpia energianmuotoja, koska sen tuotannosta ei synny minkäänlaisia päästöjä ilmaan, maahan tai veteen ja lisäksi sen polttoaine eli tuuli on täysin puhdasta. Tuulivoimalla on vielä paljon lisäyspotentiaalia jäljellä Suomessa ja sen kannattavuus on parantunut teknologian kehityksen myötä. Suomessa tuulivoimalle soveltuvia alueita ovat merialueet ja rannikot sekä Lapin tunturit.

Tuulivoimalla tuotettiin Suomessa vuonna 2018 5,8 Terawattituntia (TWh) energiaa, joka oli 22 % enemmän kuin edellisenä vuonna [3]. Tuulivoiman kasvu on viime vuosina ollut hurjaa, kun esimerkiksi vuonna 2013 sen energiantuotanto oli vain noin 0,8 TWh, kuten kuvasta 3 nähdään. Suuri syy tuulivoiman tuotantomäärien nopealle kasvulle ovat syöttötärit, jotka ovat taanneet vakaan taloudellisen pohjan tuulivoimatuotannolle ja sen rakentamiselle. Kuvasta 7 nähdään erittäin hyvin, miten tuulivoiman tuotantomäärien kasvu on ollut Suomessa eksponentiaalista.



**Kuva 7.** Vuosittainen tuulivoimatuotanto (GWh), 1000 GWh = 1 TWh [6]

Vaikka tuulivoiman tuotantomäärät ovat Suomessa olleet huimassa nousussa, on kehitys ollut hitaampaa verrattuna moniin muihin Euroopan maihin. [8] Tähän syynä ovat lukuisat kohut mediassa tuulipuistoprojektien haitoista luonnolle ja niiden aiheuttama muutos lähialueen maisemalle. [14] Tuulivoiman asennettu kapasiteetti ei noussut vuonna 2018, koska tuulivoima ei nauttinut investointitukea, kuten aikaisempina vuosina.

## AURINKOENERGIA

Aurinkoenergialla tuotetaan Suomessa sähköä ja lämpöä, mutta tuotantomäärät ovat vielä todella pieniä. Vuoden 2014 aikana aurinkosähköjärjestelmät tuottivat Suomessa arviolta vain noin 28 Terajoulea sähköä, joka vastaa noin 0,007 Terawattituntia. [15] Sähköverkkoon kytkevätkö aurinkokennoja on Suomessa paljon esimerkiksi kesämökeillä, mutta niistä ei ole tarkkaa tutkimustietoa tai tilastoja.

Suomessa ei ole systemaattista järjestelmää aurinkolämmön tilastojen keräämiseen. Eri tilastoissa esiintyvät luvut ovat erilaisten selvitysten tuloksia, jotka perustuvat asiantuntija-arvioihin. Tilastokeskuksen arvion mukaan vuonna 2014 Suomessa tuotettiin noin 57 TJ lämpöä aurinkokeräimillä. Tämä vastaa noin 0,016 TWh lämpöä. Jotta tarkkoja lukuja aurinkoenergian tuotantomääristä saataisiin selville, tulisi ylläpitää vuosittaisia myyntitilastoja ja tehdä tarkempia tutkimuksia. [15]

## 2.3 Uusiutuvan energian tukimekanismit

Suomen energiapolitiikan linjat määräytyvät pääosin kansallisen energia- ja ilmastostrategian mukaan pitkälle tulevaisuuteen. Energia- ja ilmastostrategia taas määräytyy Euroopan komission Suomelle asettamien tavoitteiden mukaan. [13] Suomen energiapolitiikan päätavoitteita ovat uusiutuvien energialähteiden lisääminen ja hiilidioksidipäästöjen vähentäminen [8].

Yksi merkittävä tekijä Suomen lämmöntuotannolle on hallituksen esittämä kivihiilikielto. Hallitus on esittänyt, että Suomessa kielletäisiin kivihiilen käyttö lämmöntuotannossa 1.5.2029 alkaen. Tällä päätöksellä on tarkoitus edistää biopolttoöljyn käyttöä lämmityksessä. Kivihiilikielto vaikuttaa suuresti Helsingin ja Vaasan lämmöntuotantoon, koska muut kivihiilivoimalaitokset ollaan joka tapauksessa korvaamassa ennen vuotta 2030. Myös Helsingin Energia on ilmoittanut luopuvansa Hanasaaren kivihiilivoimalaitoksesta vuoden 2024 loppuun mennessä. [16]

### 2.3.1 Taloudelliset tukimekanismit

Suomen energiapolitiikan ohjauskeinoina käytetään erilaisia veroja ja tukia. Useimmin käytetyt uusiutuvan energian tukimekanismit maailmalla ovat tuotantotuet eli syöttötariffit, nettomittaus, ns. edulliset tariffit ja kiintiöpohjaiset mekanismit sekä tarjouskilpailujärjestelmät [17]. Suomessa uusiutuvalle energialle myönnetään tuotanto- ja investointitukea sekä kerätään energiaveroa. Tuotantotuesta käytetään nimeä syöttötariffit. [18]

## ENERGIAVEROTUS JA VEROTUET

Energiaverotusta kehitettäessä hiilidioksidipäästöjen vähentäminen ja kotimaisen energian kilpailukyvn varmistaminen ovat olleet merkittäviä näkökohtia. Suomessa energia-verot ovat valmisteveroja, joita maksetaan liikenne- ja lämmityspolttoaineista sekä sähköstä.

Valmisteveroon kuuluvat nestemäiset polttoaineet, sähköön ja lämmöntuotantoon käytettävät polttoaineet, joita ovat maakaasu, kivihiili, polttoturpe ja mäntyöljy. Valmisteveron alaisista energiatuotteista maksetaan myös erillistä huoltovarmuusmaksua, jota keräämällä varaudutaan poikkeusoloihin ja turvataan valtion kannalta välttämättömät taloudelliset toiminnot.

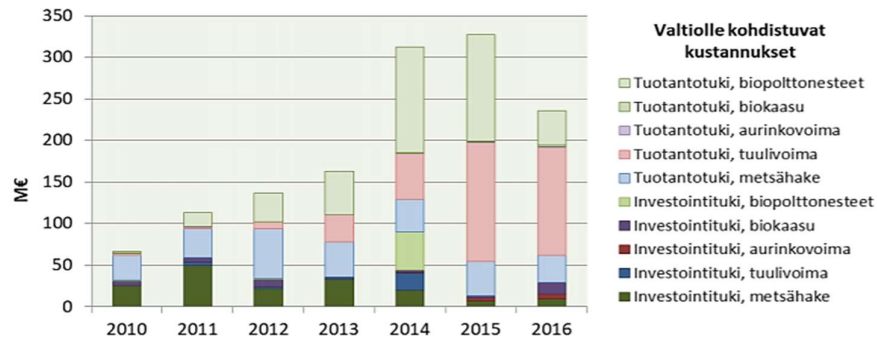
Sähköveroa maksetaan kaikesta sähköstä tuotantomuodosta riippumatta. Jotta teollisuuden kilpailukyky turvataan, on teollisuuden sähkövero alhaisempi kuin muiden kuluttajien. Luonnollisesti keskeisimpiä sähköveron maksajia ovat sähköntuottajat ja sähköverkon haltijat. Sähkön tuottajat suorittavat veron aina verokausittain eli kalenterikuukaudessa tuottamastaan sähkön määrästä. Verkonhaltijat taas suorittavat veron vasta kuluttajille luovutetusta sähköstä ja tätä veroa vastaava määrä peritään kuluttajilta sähkönsiirtolaskun yhteydessä. Yhdistettyä sähkö- ja lämmöntuotantoa varten on säädetty erikseen laskentaohje siitä, kuinka laitoksen polttoaineenkulutus jakaantuu sähkön- ja lämmöntuotantoon.

Energiaverojärjestelmään kuuluvat verojen lisäksi myös erilaiset verotuet. Näitä ovat sähköntuotannolle maksettavat verotuet ja energiaihtensiivisille yrityksille maksettavat veronpalautukset. Sähköntuotannon verotuki kattaa lähes kaikki käytössä olevat uusiutuviin energialähteisiin perustuvat sähköntuotantomuodot yli 1 MW vesivoimaa lukuun ottamatta.

## SYÖTTÖTARIFFIT

Syöttötariffien tarkoituksena on lisätä uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantokapasiteettiä ja parantaa metsähakkeen kilpailukykyä muihin polttoaineisiin verrattuna. Syöttötariffijärjestelmässä uusiutuviin energialähteisiin lasketaan kuuluvaksi tuulivoima, metsähake, biokaasu ja puupolttoaineet. Tukea maksetaan sähkölle laissa määritellyn tavoitehinnan ja sähkön markkinahinnan erotuksen verran. Tämän lisäksi sähköntuottaja voi myös osallistua sähkömarkkinoille ja saa siellä tuottamastaan sähköstä

markkinahinnan. [18] Kuvasta 8 nähdään Suomen valtiolle uusiutuvan energian tuista aiheutuvat kustannukset.



**Kuva 8.** Uusiutuvan energian tukemisesta valtiolle kohdistuvat kustannukset [19]

Huomattavaa on, että aurinkovoima ei kuulu syöttötariffijärjestelmään lainkaan. Aurinkoenergia on Suomessa yleisemmin pienimuotoista ja siihen investoivat lähinnä yksityiset toimijat [20].

### 2.3.2 Päästökauppa

Euroopan Unionin päästökauppa eli EU ETS (European Union Emission Trading System) oli ja on edelleen maailman ensimmäinen merkittävä päästökauppa. Päästökaupassa jokaisella sen alla olevalla yhtiöllä on jokin tietty määrä, kuinka paljon kasvihuonekaasuja se saa aiheuttaa. Tämän päästömäärän rajoissa yhtiöt ostavat tai myyvät päästöoikeutta muille yhtiölle tarpeen mukaan. Yhtiön aiheuttamia päästöjä mitataan vuoden sykleissä. Jos yhtiö aiheuttaa enemmän päästöjä kuin mitä sillä on päästöoikeutta, on seurauksena raskas sakotus. Yhtiöiden sallittua päästömäärää pienennetään joka vuosi. Jos yhtiölle jää edelliseltä vuodelta päästöoikeutta käyttämättä, voi se hyödyntää ne seuraavana vuonna. [21]



**Kuva 9.** *EU-ETS päästöoikeuksien hinta hiilidioksidille vuosina 2010-2018, mukaillen [22]*

Heikon taloudellisen tilanteen vuoksi päästöoikeuksien hinnat romahtivat Euroopan Unionissa vuosina 2013-2017, kuten nähdään kuvasta 9. Uusiutuvien energialähteiden saama tuotantotuki on aiheuttanut merkittävän päästöoikeuksien ylijäämän, joka on myös osaltaan aiheuttanut päästöoikeuksien hintojen laskua. Tämä on ollut pääsyy siihen, että päästöoikeudet eivät ole ohjanneet investointeja vähähiilisiin ratkaisuihin toisin kuin oli suunniteltu. [9]

Päästöoikeuksien ylijäämä hallitsee päästökauppaa vieläkin, mutta päästöoikeuksien hinnat kääntyivät suureen nousuun vuoden 2018 alussa. Tämä johtuu siitä, että jotkut tahot ovat ostaneet päästöoikeuksia varastoon, koska he epäilevät, että niistä voi olla tulevaisuudessa pulaa. [9]

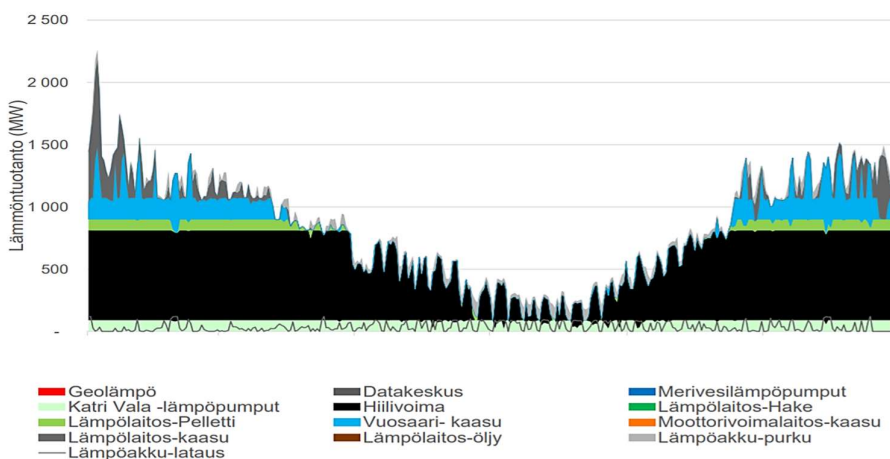
### 3. AJANKOHTAISIA SKENAARIOITA UUSIUTUVAN ENERGIAN LISÄÄMISESTÄ

Uusiutuvien energialähteiden osuuden nostaminen Suomen energian- ja lämmöntuotannossa on ollut esillä jo pitkään niin mediassa kuin teollisuudessa. Tästä syystä eri suomalaiset tahot ovat tutkineet, miten Suomen energiajärjestelmä saataisiin toimimaan kokonaan uusiutuvilla energialähteillä. Näihin tutkimuksiin sisältyvät luonnollisesti myös Suomen energia- ja lämmöntuotanto.

Tärkeimpiä tutkimuksia tämän työn aihetta ajatellen ovat Wärtsilän raportti vaihtoehtoista Helsingin kaukolämmöntuotannoksi, Tekesin rahoittama Neo-Carbon Energy niminen tutkimus kokonaan uusiutuvilla energialähteillä toimivasta Suomesta vuonna 2050 sekä Teknologian tutkimuskeskus VTT:n Low Carbon Finland 2050 niminen tutkimus, jonka aihepiiri on sama kuin Neo-Carbon Energy-tutkimuksella.

#### 3.1 Vaihtoehdot Helsingin kaukolämmön tuotannoksi

Vuoden 2019 alussa Wärtsilä julkaisi tutkimuksen siitä, miten Helsingin kaukolämmön tuotannossa voitaisiin siirtyä pois kivihiilen käytöstä. Kuvasta 10 nähdään, että tällä hetkellä Helsingin kaukolämmöntuotanto perustuu suuresti Salmisaaren ja Hanasaaren kivihiiliyhteistuotantolaitoksiin sekä Vuosaaren maakaasuyhteistuotantolaitoksiin. Nykytilanteessa Helsingin kaukolämmöntuotannon CO<sub>2</sub>-päästöt ovat noin 3,3 miljoonaa tonnia CO<sub>2</sub>. [23]



**Kuva 10.** Helsingin kaukolämmöntuotanto nykytilanteessa [23]

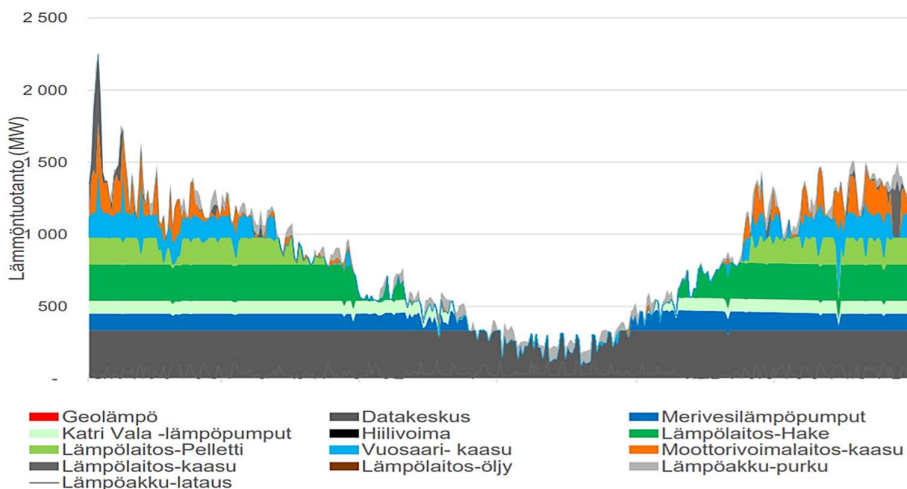
Wärtsilän ratkaisussa Helsingin kaukolämmönlähteenä toimii datakeskusten hukkalämpö, joka lämpöpumppujen avulla varastoidaan vanhoihin kivihiilisiiloihin. Ratkaisussa



datakeskusten, lämpöpumppujen sekä datakeskuksen varavoimalana toimivan kaasumoottorivoimalaitoksen sähköistys hoidetaan tuulisähköllä. Tämä on tutkimuksen mukaan kustannustehokkain tapa hoitaa kaukolämmöntuotannonsähköistys. [23]

Datakeskusten määrä tulee tulevaisuudessa kasvamaan ja jo nyt esimerkiksi Chicagossa ja Saksassa Offenbachissa suunnitellaan vanhojen hiilivoimaloiden konvertoimista datakeskuksiksi. Datakeskukset ostavat sähkönsä energiayhtiöiltä ja niiden varavoimalaitokset osallistuvat energiamarkkinoille ja aiheuttavat näin lisätuloa. [23]

Wärtsilän suorittamien optimointien perusteella edullisin kaukolämmön tuotantokustannus saavutettaisiin investoimalla kahteen datakeskukseen, yhteen merivesilämpöpumppuun ja kahteen biomassalaitokseen. Salmi- ja Hanasaaren hiilivoimalaitokset konvertoidaan datakeskuksiksi, joiden varavoimalaitos mahdollistaa uuden merivesilämpöpumpun käytön Salmi- tai Hanasaarella. [23]



**Kuva 11.** Helsingin kaukolämmöntuotanto optimitilanteessa [23]

Optimitilanteessa (kuva 11) kaukolämmöntuotanto siis perustuu datakeskusten hukkalämpöön, jota tukevat merivesilämpöpumput sekä uudet biomassalämpölaitokset. Kaukolämmön menoveden priimaus kylminä pakkaspäivinä hoidetaan datakeskusten varavoimalaitoksilla. Uusien investointien lisäksi kaukolämmöntuotantoon osallistuvat vanhat Katri Valan lämpöpumput sekä Vuosaaren yhteistuotantolaitos. Optimitilanteessa CO<sub>2</sub>-päästöt pienenevät nykytilanteeseen verrattuna 87% eli noin 0,42 miljoonaan tonniin CO<sub>2</sub>-päästöjä. Myös tuotantokustannus laskee 10% nykytilanteeseen verrattuna ja jopa 15%, jos kaukolämmön verotusta muutettaisiin alempaan veroluokkaan. [23]

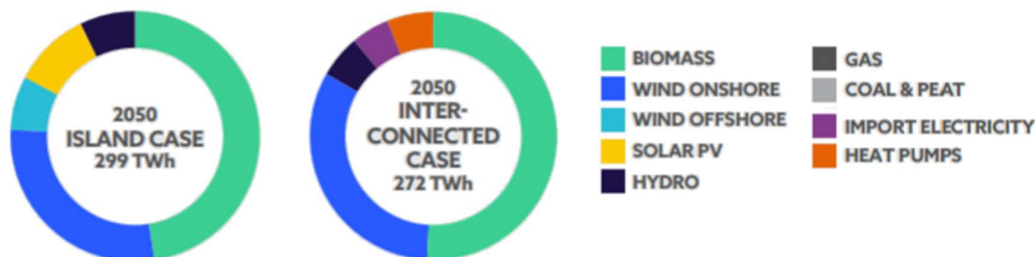
Espoon Otaniemessä on käynnissä tällä hetkellä syvän geolämmön pilottihanke, joka tutkii mahdollisuutta hyödyntää geolämpöä kaukolämmöntuotannossa. Geolämmöllä

tuotetaan kaukolämpöä poraamalla maahan kaksi syvää reikää. Toisesta reiästä pumpataan vettä syvälle kallioperään, jossa se kuumenee ja nousee toista reikää pitkin ylös. Näin kerätty lämpö syötetään lämmönvaihtimen kautta kaukolämpöverkkoon. Tulevaisuudessa geolämmön kaupallistuttua olisi se edullisin tapa tuottaa kaukolämpöä ja voisi korvata Vuosaaren yhteistuotantolaitoksen ja vähentäisi biomassalaitosten käyttöä. Kustannussäästöt olisivat 19% ja CO<sub>2</sub>-päästöt jopa 93% pienempiä nykytilanteeseen verrattuna. Täysin päästöttömään lämmöntuotantoon päästään käyttämällä biokaasua maakaasun sijasta datakeskusten moottorivoimalaitoksissa. [23]

### 3.2 Neo-Carbon Energy

Neo-Carbon Energy on sitä tutkineiden mukaan suurin uusiutuviin energialähteisiin liittyvä tutkimus Suomessa. Sen tavoitteena on luoda täysin uusi uusiutuviin energialähteisiin pohjautuva energiajärjestelmä, jossa kaikki tehty energia on päästövapaata, kustannustehokasta ja itsenäistä. Tutkimuksella on myös ratkaisut kysymyksiin uusiutuvan energian juostavuudesta ja varastoinnista sekä jakelusta. [4]

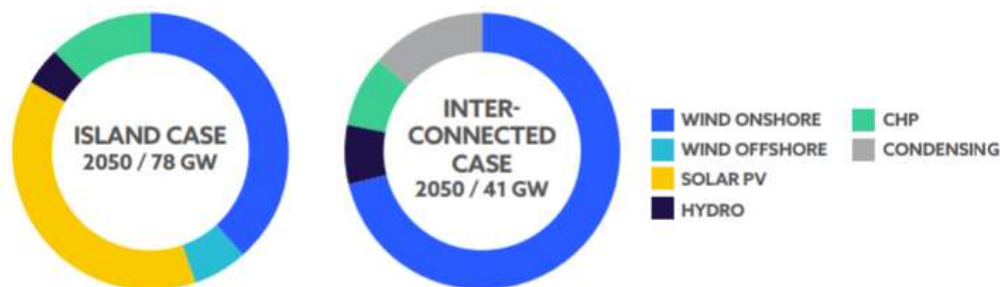
Neo Carbon Energy esittää 100% uusiutuvilla energian lähteillä toimivalle Suomelle kaksi eri mallia. ”Saari”-nimisessä mallissa Suomi nähdään itsenäisenä toimijana eräänlaisena energia ”saarena”. Saarimallissa biomassa sekä tuulivoima ja aurinkoenergia ovat merkittävässä roolissa kokonaan uusiutuvilla energianlähteillä toimivassa energiajärjestelmässä. Toisessa ”yhdistetty”-nimisessä mallissa Suomi nähdään yhtenä Energiatoimijana Baltian meren alueella. Tässä mallissa biomassan ja tuulivoiman rooli energian tuotannosta on merkittävä. Erona saari malliin on iso tuontisähkön määrä, joka saarimallissa tuotettiin aurinkosähköllä. Energian kulutuksen rakenne on nähtävissä kuvasta 12. [4]



**Kuva 12.** Suomen energian kulutus vuonna 2050 kahden Neo Carbon Energy tutkimuksen mallin mukaan. [4]

Kahden eri mallin avulla on myös kuvattu Suomen energiantuotannon rakennetta. Saarimallissa suuri osa Suomen energiantuotannosta on katettu tuuli- ja aurinkovoimalla, jossa aurinkosähkön pientuottajilla on merkittävä rooli. Loput energiantuotannosta olisi

biomassalla ja kestävästi tuotetuilla kaasuilla toimivaa sähkön- ja lämmönyhteistuotantoa sekä vesivoimaa. Yhdistetyssä mallissa melkein 75% Suomen energiantuotannosta olisi tuulivoimaa ja aurinkovoimalla ei olisi mitään roolia. Luonnollisesti tässä tilanteessa Suomessa ei toimisi aurinkosähkön pientuottajia. Loput energiantuotannosta katettaisiin sähkön- ja lämmönyhteistuotannolla sekä lauhdevoimalla. Energian tuotannon rakenne on nähtävissä kuvasta 13. [4]



**Kuva 13.** Suomen energiantuotannon rakenne vuonna 2050 kahden Neo Carbon Energy tutkimuksen mallin mukaan [4]

Molemmissa malleissa sähkön varastoinnilla on merkittävä rooli. Saarimallissa akkuina toimivat ideaalitalanteessa pelkästään ajoneuvojen akut ja jopa 20% käytetystä sähköstä tulisi loppukäyttäjille akkujen kautta. Kausittainen ja järjestelmätason sähkön varastointi hoidettaisiin vesivoiman, biomassan ja power-to-gasin tarjoamien varastointimahdollisuuksien avulla. Power-to-gas voisi tarjota jopa 12 Gigawatin arvosta kaasua metanatiolla ja 20 Gigawattia sähköistä kapasiteettia elektrolyysin avulla. Yhdistetyssä mallissa ajoneuvojen akuilla olisi myös merkittävä rooli. Kausi- ja järjestelmätason varastointi hoidettaisiin vesivoiman, biomassan ja uusiutuviin energialähteisiin pohjautuvilla lauhdevoimalaitoksien akkukapasiteeteilla. [4]

Tutkimuksessa on esitetty varastoinnille myös muita vaihtoehtoja. Näitä olisivat esimerkiksi erilaiset kondensaattorit ja akut. Energiajärjestelmän pidempiaikaisia varastointimuotoja voisivat olla esimerkiksi teolliset lämpövarastot tai synteettiset polttoaineet. [4]

Tutkimuksen mukaan vuonna 2050 Suomessa voisi olla jopa 30 000 Megawattia asennettua aurinkosähkökapasiteettia ja tuulivoimaa jopa 44 000 Megawattia. Tämän kaltaisen muutos energiajärjestelmässä luultavasti myös muuttaisi energiasektorin omistajakenttää, koska tuuli ja aurinko ovat vapaasti saatavilla kenelle tahansa. [4]

### 3.3 Low Carbon Finland 2050

Low Carbon Finland 2050 on VTT:n eli Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen hanke, jossa tarkastellaan siirtymistä vähähiiliseen tulevaisuuteen ja vihreän teknologian kasvun edellytyksiä. Hanke keskittyy uusien teknologia- ja palveluratkaisujen mahdollistamiin ratkaisuihin ja käsittelee kulutuksen muutoksia suhteessa teollisuuteen ja yhteisöihin. Hankkeessa on laadittu kolme erilaista skenaariota, Tonni, Inno ja Onni, joiden avulla on analysoitu vähähiiliseen yhteiskuntaan siirtymistä eri sektoreilla. Näiden kolmen skenaarion lisäksi on myös laadittu "Base"-skenario, jossa Suomen on oletettu täyttävän vain vuoteen 2020 asti asetut tavoitteet. Muissa skenaarioissa on hankkeen nimenmukaisesti tavoiteltu vähintään 80% vähennystä kasvihuonekaasupäästöissä vuoteen 2050 mennessä. [5]

#### 3.3.1 Hankkeen eri skenaariot

##### TONNI

Tonni-skenaariossa oletetaan, että teollisuus jatkaa monimutkaistumistaan ja tuotannon volyymit jatkavat kasvuaan historiallisten trendien mukaan. Teollisuuden kehityksen ei uskota olevan vauhdikasta, joten 80% vähennys kasvihuonekaasupäästöissä oletetaan saavutettavan olemassa olevan teknologian avulla. [5]

##### INNO

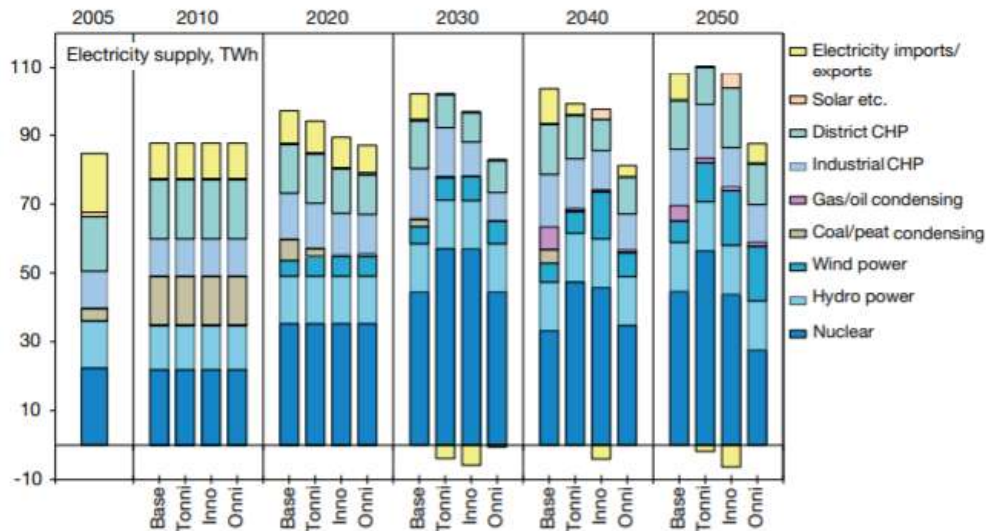
Inno-skenaariossa teknologian kasvun oletetaan olevan todella vauhdikasta. Uusia tuotteita ja tuotantoprosesseja otetaan käyttöön monilla teollisuuden aloilla. Asutus on jakaantunut muutamiin korkean asumistiheyden asutuskeskuksiin, jotka tarjoavat lupaa- van ympäristön uusille teollisuuden innovaatioille. Energiantuotannon hyötysuhde on korkealla ja uusien vähähiilisten ja vihreiden teknologioiden hinnan on ennustettu laskevan vauhdikkaasti. [5]

##### ONNI

Onni-skenaariossa on oletettu teollisuudessa sekä alue- ja kaupunkimuodoissa tapahtuvan merkittäviä rakenteellisia muutoksia. Alueelliset rakenteet siirtyvät hajautetumpaan suuntaan ja omakotitaloalueiden määrä kasvaa. Energiantuotannossa uusiutuvia energialähteitä hyödyntävien paikallisten hajautettujen teknologiaratkaisujen merkitys kasvaa. Tämän takia laajamittaisen ja keskittyneen energiantuotannon merkitys tässä skenaariossa on pieni. [5]

### 3.3.2 Sähkön- ja lämmöntuotannon rakenteet tulevaisuudessa

Low Carbon Finland hankkeen mukaan tärkeimmät energiantuotannon muodot kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi ovat ydinvoima, tuulivoima, biomassapohjainen tuotanto ja aurinkosähkö, kuten näemme kuvasta 14. Tonni, Inno ja Onni skenaarioissa ydinvoimalla tuotettaisiin 31-52% kaikesta sähköntuotannosta vuonna 2050. Tuulivoiman ja aurinkosähkön osuus sähköntuotannosta voi saavuttaa korkeimmillaan jopa 20%, kuten Inno-skenaariossa. [5]



**Kuva 14.** Sähköntuotanto eri skenaarioissa Low Carbon Finland 2050-tutkimuksessa. [5]

Fossiilisista polttoaineista luopuminen tulee tutkimuksen mukaan olemaan haastavinta isojen asumisalueiden sähkön- ja lämmönyhteistuotannossa. Fossiilisista polttoaineista luovuttaessa nämä asumiskeskukset tulisivat todella riippuvaisiksi biomassapohjaisista polttoaineista, joka aiheuttaisi logistisia ja taloudellisia vaikeuksia. Suurien asumiskeskusten yhteistuotannossa voitaisiin mahdollisesti jatkaa fossiilisten polttoaineiden polttamista hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin avulla (englanniksi CCS). Uusiin isoihin yhteistuotantolaitoksiin voitaisiin asentaa CCS-järjestelmiä, jos se tulevaisuudessa olisi kaupallisesti saatavilla. Nykypäivänä kaupallinen tekniikka hiilidioksidin talteenotossa on jo olemassa, mutta hiilidioksidin varastointiin liittyviä ongelmia ei ole ratkaistu. [5]

Hankkeen joka skenaariossa tarvittavan lämpöenergian määrän on ennustettu pienenevän, esimerkiksi vanhojen omakotitalojen kohdalla lämmityksen tarpeen on ennustettu pienenevän noin 16-55% ja uusien rakennettavien omakotitalojen kohdalla 12-43% vuodesta 2012 vuoteen 2050 mennessä. Jotta yhteistuotanto pystyy tulevaisuudessa kilpailemaan uusien tuotantomuotojen kanssa, tulee sen sähköntuotannon olla tulevaisuudessa korkeampaa suhteessa lämmöntuotantoon.

Yhdessä biopolttoaineiden, uusien teknologioiden ja mahdollisesti myös hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin kanssa yhteistuotannon rooli tulisi olemaan vähentyneestä lämmöntarpeesta huolimatta merkittävä myös vuonna 2050, kuten kuvasta 10 nähdään. Etenkin Inno-skenaariossa matalan lämpötilan kaukolämpöjärjestelmät kiihdyttäisivät power-to-heat yhteistuotannon kasvua ja kasvattaisivat kaukolämpöjärjestelmien hyötysuhteita. [5]

Hankkeen jokaisessa skenaariossa biomassan käyttö energiantuotannossa tulee kasvaan etenkin sähkön- ja lämmönyhteistuotannossa, mutta kasvua nähdään myös muilla loppukäyttösektoreilla. Suurin osa kasvavasta biopolttoainetuotannosta olisi edelleen metsien biomassaa, joka tarkoittaisi biomassan tarjonnan ja logistiikan jatkuvaa parantamistarvetta. Metsäjäämiä, maatalouden jäännöksiä ja energiakasveja tultaisiin myös käyttämään laajemmin kuin nykyään. Kasvavan biomassan käytön takia myös sen tuotannon kestävyys tulisi olla todennettua, joka voi edellyttää tarkempia biomassan seuranta ja tarkkailumenettelyjä tulevaisuuden vähähiilisessä Suomessa. [5]

## 4. POTENTIAALI JA HAASTEET UUSIUTUVIEN ENERGIALÄHTEIDEN LISÄÄMISESSÄ

Sähkön- ja lämmöntuotannon lisäyspotentiaali painottuu Suomessa lämmöntuotantoon, kuten tässä työssä on jo tullut ilmi. Sähköntuotannosta enää noin 20% tuotetaan fossiililla polttoaineilla ja tarkemmin 15,3% kivihiilellä, maakaasulla ja öljyllä [6]. Suurimpia haasteita uusiutuvan energian lisäämiselle sähkön- ja lämmöntuotannossa on voimalaitosten konvertoiminen polttamaan biomassapohjaisia polttoaineita ja etenkin Helsingin kaukolämmöntuotannon saaminen vahvasti kivihiilipainotteisesta kaukolämmöntuotannosta kohti uusiutuvaa tuotantoa.

Biomassan osuuden lisääminen on yhteinen haaste Suomen sähkön- ja lämmöntuotannolle. Suomessa merkittävimmät fossiilisten polttoaineiden korvaajat ovat todennäköisesti biomass ja tuulivoima, jolloin samalla aurinkoenergia sekä muut uusiutuvat energialähteet jäisivät pienempään rooliin [8].

### 4.1 Haasteet sähköntuotannossa

Uusiutuvien energialähteiden lisäämiselle sähköntuotannossa liittyy erilaisia tuotantomuodosta riippuvia haasteita. Nykyisen ja kehitteillä olevan teknologian myötä uusiutuvan energian lisääminen rajoittuu biomassan käyttöön sähkön- ja lämmönyhteistuotannossa ja lauhdesähkötuotannossa, tuulivoimaan ja vesivoimaan sekä aurinkosähköön. Näiden lisäämisen merkitys korostuu entisestään, jos tulevaisuudessa päätetään sulkea ydinvoimalat, joiden osuus Suomen sähköntuotannosta oli vuonna 2018 32% [4]. Ydinvoiman tulevaisuus on vahvasti mielipiteitä jakava aihe ja sen käyttö on polarisoitunut kysymys politiikassa.

Erityisesti tuuli – ja aurinkovoimalla tuotetun sähkön varastoinnin pitää olla tehokkaasti mahdollista ja niiden vaihteleva sähköntuotanto joustavaa, jotta niiden tuotantomääriä voidaan nostaa. Vaihtelevan sähköntuotannon osuuden lisäys on myös suuri haaste sähköenergiajärjestelmälle, koska vaihtelevien tuotantomuotojen säätäminen on vielä nykyisellään hankalaa ja taloudellisesti kannattamatonta. Tuotannon ja kulutuksen teho-  
tasapainon hallinta tulee myös vaikeutumaan. Tuotannon suuri vaihtelu luo aiempaa isomman kuormituksen Suomen sähköverkolle. Jotta tehotasapainoa pystytään hallitsemaan, ja jotta sähköverkot pysyvät toimivina, tarvitsee tulevaisuudessa luultavasti ohjata

sähkön kulutusta kysyntäjoustolla. Tämä tarkoittaa sähkönkulutuksen siirtämistä tunneille, jolloin kulutus on pienempää, esimerkiksi yölle. [24]

#### **4.1.1 Tuulivoiman haasteet**

Tuulivoimatuotannon suurin haaste on sen tuotantomäärien riippuvuus säästä. Tästä syystä tuulivoima tarvitsee rinnalleen säätövoimaa huonojen sääolosuhteiden varalle. Yksi mahdollisuus säätövoiman hankintaan on ostaa se Nordpool-sähkömarkkinoilta, johon Suomi kuuluu. Markkinoilta ostettu sähkö saadaan nopeimmillaan käyttöön jopa 15 minuutissa. Tuuliolosuhteiden hyvän ennakoitavuuden vuoksi varautuminen onnistuu myös 1-2 päivän varoajalla.

Tuulivoimantuotannolla on myös negatiivisia ympäristövaikutuksia. Huonosti suunnitellut tuulivoimalat ja niiden infrastruktuuri voivat olla jopa kuolettavia erityisesti lepakoille, linnuille ja vedenalaiselle luonnolle. Erityisesti linnustolle haittavaikutus voi olla merkittävä, kun linnut varovat tuuliturbiineja niiden pesintäalueilla. Myös meriekosysteemit voivat kärsiä tuulivoimaloiden rakennusvaiheessa. Ympäristövaikutukset eivät kuitenkaan ole suuri este tuulivoiman tuotannolle, jos ne otetaan huomioon jo suunnitteluvaiheessa.

#### **4.1.2 Vesivoima**

Kauppa- ja teollisuusministeriön energiaosaston selvityksen mukaan Suomessa oli vuonna 2005 vesivoimapotentiaalia jäljellä 2130 MW, joka vuositasolla vastaa noin 9,7 TWh tuotantoa. Tästä rakennettavissa ja lisärakennettavissa oleva suojelemattomien vesistöjen osuus on 663 MW tai 2,3 TWh. [8]

Suurin osa Suomen vesivoiman lisäyspotentiaalista on suojeltuja vesistöjä ja sen hyödyntäminen on hankalaa. Lisäksi vesistöjen suojelu rajoittaa myös joitakin jo olemassa olevia voimaloita ja niiden kapasiteetin käyttöä. Kannattavuudeltaan edullisimmat vesivoimakohteet onkin jo rakennettu tai suojeltu lisärakentamiselta. [8]

#### **4.1.3 Aurinkosähkö**

Teoreettinen potentiaali aurinkosähkön lisäämiselle on hyvin suuri, koska sen teknisenä rajoitteena on lähinnä pinta-ala. Aurinkosähkön haaste Suomessa on tuotantopotentiaalilin suuri rajoittuminen kesäaikaan. Käytännössä edellytys aurinkosähkön lisäämiselle on sähkön varastoinnin kehitys ja uusien varastointimuotojen läpimurto. Aurinkosähkön



suuri tuotantopotentiaali kesäisin voidaan kuitenkin jo nykyisellään hyödyntää käyttämällä sillä tuotettu sähkö esimerkiksi rakennusten viilentämiseen lämpöpumpuilla. Jos aurinkosähkön tuotanto lisääntyy maailmalla räjähdysmäisesti, voi sen tuotantopotentiaalia rajoittaa myös raaka-aineiden saatavuus.

Aurinkosähkön hinta on kuitenkin laskenut vuosittain huimasti ja siitä on tullut jo osittain taloudellisesti kannattavaa ilman tukimekanismeja [24]. Aurinkosähkön kiinteät kustannukset ovat pienentyneet niin paljon, että se on saanut yksittäiset ihmiset ryhtymään sähköenergian pientuottajiksi, joka näkyy hyvin Suomen suurimpien verkkoyhtiöiden verkkoon kytketyn pientuotannon määrässä. Sähkön pientuotannon lisääntyminen luo kuitenkin tilanteen, jossa sekä tuotanto että kulutus vaihtelevat ohjaamattomasti, joka lisää sähköverkkojen kuormitusta ja sähköjärjestelmän tehotasapainon hallinta tulee entistä hankalammaksi [24]. Jos Sähköverkko vain teknisiltä ominaisuuksiltaan kestää, on hyvin mahdollista, että tulevaisuudessa pientaloudet tuottavat itse tarvitsemansa sähkön omalla pientuotannollaan.

## 4.2 Haasteet lämmöntuotannossa

Kuten jo tämän työn alussa todettiin, on suurin osa Suomen lämmöntuotannosta kaukolämmöntuotantoa, joten uusiutuvan energian lisäyspotentiaali Suomen lämmöntuotannossa on juuri kaukolämmöntuotannossa, jossa lisäyspotentiaali on suuri.

Lämmöntuotannon polttoaineina käytetään Suomessa vielä suuria määriä fossiilisia polttoaineita. Näiden fossiilisten polttoaineiden käyttöä voidaan tulevaisuudessa jatkaa, jos savukaasujen puhdistus ja CCS saadaan toimimaan isoissa polttolaitoksissa tehokkaasti. CCS ei ole kuitenkaan vielä siinä vaiheessa, että sitä voitaisiin hyödyntää. Ilman toimivaa savukaasujen puhdistusta tai CCS:ää, pitää lämmöntuotannossa siirtyä biomassapohjaisiin polttoaineisiin.

Toinen vaihtoehto uusiutuvan energian lisäämiselle lämmöntuotannossa ovat lämpöpumput ja tulevaisuudessa mahdollisesti geolämpö. Wärtsilän raportti Helsingin lämmöntuotannosta ja sen konvertoimisesta toimimaan uusiutuvalla energialla on hyvä esimerkki vaihtoehdosta perinteiselle yhteistuotanto- tai lauhdevoimaloissa tuotetulle lämmölle. Wärtsilän raporttia voidaan soveltaa myös muilla paikkakunnilla, jossa mietitään mitä fossiilisilla polttoaineilla toimivalla lämmöntuotannolle tehdään. Suurin uusiutuvan energian lisäämisen potentiaali on Helsingin lämmöntuotannossa, koska se on iso osa koko Suomen lämmöntuotannosta.

### 4.3 Biomassan käytön lisäämisen haasteet

Biomassapohjaista yhteistuotantoa rajoittaa Suomessa lämpökuormien määrä. Yhteistuotannosta tulee lämpöä kaukolämpöverkolle ja teollisuudelle esimerkiksi höyrynä. Biomassan käytön lisäämistä rajoittaa Suomessa fossiilisten polttoaineiden korvaaminen ja pienen kokoluokan lämmönkäyttökohteet. Biomassan käyttöä lauhdesähkössä rajoittavat luonnollisesti myös raaka-ainevarat ja korkeammat kustannukset. [9]

Biomassapohjaiseen tuotantoon siirtyminen on teknisesti mahdollista, mutta se vaatii suuria investointeja. Kun rakennetaan uusia voimalaitoksia ja konvertoidaan vanhoja voimalaitoksia käyttämään biomassapohjaisia polttoaineita, biomassan kysyntä kasvaa hurjasti ja suurin kysymys onkin biomassan riittävydessä ja sen tarjonnan vastaaminen kysyntään. [16]

#### 4.3.1 Kotimaan biomassan tuotanto

Suomen metsävarannot tarjoavat hyvät mahdollisuudet bioenergian osuuden lisäämiselle tulevaisuudessa, mutta myös muilla puupohjaisilla biomassoilla on potentiaalia tulevaisuuden energialähteinä. [6]

Kotimaan biomassaa ei riitä lyhyellä aikavälillä kotimaisten biopolttoaineiden raaka-aineeksi, joten raaka-ainetta joudutaan todennäköisesti tuomaan Malesiasta ja Indonesiasta. Kun biomassan tuotanto kasvaa näissä maissa, se aiheuttaa luultavasti ekologisia ja sosiaalisia ongelmia, joiden merkittävyyttä joudutaan vertaamaan biopolttoaineiden vaikutuksiin. [25] Tulevaisuudessa yksi merkittävistä kysymyksistä kansainvälisessä politiikassa tulee olemaan tuotetaanko pelloilla viljeltävästä biomassasta polttoainetta vai ruokaa ihmisille.

Bioenergian tuotannon kasvaessa myös biomassan tuotanto kasvaa. Suomen ympäristökeskuksen raportissa arvioidaan kotimaisella biomassalla olevan Suomessa lisäyspotentiaalia noin 70000-150000 Terajoulea eli noin 19,5-41,7 Terawattituntia [25]. Potentiaalın käyttöönottamiseen vaikuttavia tekijöitä ovat teknologinen kehitys ja polttoaineiden hinnat sekä poliittiset ohjauskeinot ja mahdolliset tuotantorakenteen muutokset. Metsähakkeella on arvioitu olevan suurin yksittäinen lisäyspotentiaali. [25]

#### 4.3.2 Kansainvälinen näkökulma

Kun puhutaan biomassan tuotannosta ja sen käytöstä bioenergian raaka-aineena, pitää muistaa, että biomassaa käyttää raaka-aineenaan myös moni muu teollisuuden toimija

energiasektorin lisäksi. Esimerkiksi puusta tehdään sellua, joka toimii raaka-aineena esimerkiksi kartonkipakkauksille ja sanomalehdille.

Elintason noustessa näiden tuotteiden kysyntä kasvaa, kuten myös energian. Toisaalta teknologian kehittyessä tulevat erilaiset sähköiset lukulaitteet yleistymään, mikä vähentää biomassan kysyntää. Kartongin tuotanto on puolestaan kasvanut paljon viime vuosina kartongin yleistyttyä pakkausmateriaalina [25].

### **4.3.3 Energiakasvien viljely**

Tällä hetkellä pelloilla tuotetaan pääasiassa ruokaa ihmisille ja eläimille. Väestönkasvun jatkuessa ja jopa kiihtyessä ruoan ja rehujen kysyntä kasvaa. Jos energiakasvien viljely yleistyy tulevaisuudessa, voivat ne aiheuttaa maaperän tuotantokyvyn heikkenemistä ja tehdä peltoekosysteemeistä yksipuolisia [25]. Viljelyn lisääntyessä myös peltojen lannoitus lisääntyy, joka voi aiheuttaa lisääntyvää rehevöitymistä peltoalueiden läheisissä vesistöissä.

## 5. YHTEENVETO

Tässä työssä selvitettiin uusiutuvan energian lisäyspotentiaalia Suomen sähkön- ja lämmöntuotannossa. Tämä lisäyspotentiaali on Suomessa lähinnä lämmöntuotannossa, koska Suomen sähköntuotannosta jo 79% on hiilidioksidivapaata ja 47% uusiutuvia. Lisäksi ydinvoiman osuus sähköntuotannosta on 32%, jota ei lukujenkaan perusteella laskea uusiutuvaksi energianlähteeksi. Tulevaisuudessa joudutaan myös käsittelemään kysymyksiä ydinvoimaloiden sulkemisesta ja niiden tuotannon korvaamisesta uusiutuvilla energianlähteillä. Painetta uusiutuvan energian lisäämiselle luovat Euroopan Unionin monet ilmastotavoitteet sekä esimerkiksi Suomen hallituksen esittämä kivihiilikielto alkaen vuonna 2029.

Uusiutuvan energian lisäyspotentiaali Suomen sähköntuotannossa rajoittuu tuulivoiman ja aurinkosähkön tuotannon lisäämiseen sekä biomassan käytön lisäämiseen lauhdesähköntuotannossa. Tuulivoiman ja aurinkosähkön tuotantokustannukset tulevat vuosi vuodelta alaspäin ja niiden lisäämisen haasteena on suuri riippuvuus säästä ja näin ollen vaihteleva tuotanto ja sen tuoma rasitus sähköverkolle. Vaikka sähköntuotannossakin on potentiaalia lisätä biomassan käyttöä, on sen lisäämiselle suurin potentiaali yhteis- ja lämmöntuotannossa.

Suomen lämmöntuotannossa on iso lisäyspotentiaali uusiutuvalla energialle. Suuri osa Suomen lämmöntuotannosta on kaukolämmöntuotantoa ja tästä iso osa koostuu Helsingin lämmöntuotannosta. Helsingin lämmöntuotanto on ympäri vuoden riippuvainen kivihiilen poltosta Hana- ja Salmisaaren yhteistuotantolaitoksissa ja jopa puolet Helsingissä tuotetusta lämmöstä on tuotettu hiilivoimalla. Suomen hallituksen esittämä kivihiilikielto on lisännyt painetta muuttaa Helsingin lämmöntuotantoa kohti uusiutuvaa energiaa.

Wärtsilän julkaisema raportti uusiutuvan energian lisäämisestä Helsingin kaukolämmöntuotannossa, on sovellettavissa myös muilla paikkakunnilla. Sen ehdotuksia kivihiilen korvaajiksi ovat uudet datakeskukset ja niiden tuottama hukkalämpö, biomassapohjaiset voimalaitokset sekä geolämpö. Suomen lämmöntuotannossa nopein ison mittakaavan muutos kohti uusiutuvaa energiaa olisi biomassapohjaisten voimalaitosten lisääminen.

Suurin haaste uusiutuvan energian lisäyspotentialille niin sähkön- kuin lämmöntuotannossakin on ennen kaikkea raha ja investointien tekeminen. Sähkön- ja lämmöntuotannon muuttaminen kokonaan uusiutuvalla energialla toimiviksi on teknisesti mahdollista, mutta isojen voimalaitosten muuttaminen biomassapohjaisiksi ja tuulivoiman lisääminen vaativat, kuten muutkin uusiutuvan energian lisäyskeinot, isoja investointeja energiayhtiöiltä. Uusiutuvan energian lisäämisen tekniset haasteet liittyvät erityisesti sähkön varastointiin, jonka pitää olla tehokasta ja toimivaa, jotta sään mukaan vaihtelevat tuuli- ja aurinkosähkötuotanto voidaan kokonaan hyödyntää. Sään mukaan vaihteleva sähkön tuotanto luo myös Suomen sähköverkkoon suuremman kuormituksen, kuin mihin ne on aikoinaan suunniteltu, joten teknisiä haasteita liittyy myös sähköverkon toimintaan.

## LÄHTEET

- [1] European Commission. Progress made in cutting emissions, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 29.5.2019): [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/progress\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/progress_en).
- [2] European Commission. EU energy, transport and GHG emissions trends to 2050, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 19.3.2019): [http://ec.europa.eu/energy/observatory/trends\\_2030/doc/trends\\_to\\_2050\\_update\\_2013.pdf](http://ec.europa.eu/energy/observatory/trends_2030/doc/trends_to_2050_update_2013.pdf).
- [3] Tilastokeskus 2019. Energian hankinta ja kulutus 2018, 4. neljännes. Tilastokeskuksen julkaisuja, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.3.2019): [https://www.stat.fi/til/ehk/2018/04/ehk\\_2018\\_04\\_2019-03-28\\_fi.pdf](https://www.stat.fi/til/ehk/2018/04/ehk_2018_04_2019-03-28_fi.pdf).
- [4] Neo Carbon Energy 2015. Emission-free future available now, Neo Carbon Energy julkaisuja, verkkojulkaisu. Saatavissa (viitattu 03.11.2019): [http://www.neocarbonenergy.fi/wp-content/uploads/2015/03/NCE\\_infokortti\\_web.pdf](http://www.neocarbonenergy.fi/wp-content/uploads/2015/03/NCE_infokortti_web.pdf).
- [5] VTT 2012. Low Carbon Finland 2050, VTT clean energy technology strategies for society, verkkojulkaisu. Saatavissa (viitattu 03.11.2019): <https://www.vtt.fi/inf/pdf/visions/2012/V2.pdf>.
- [6] Energiateollisuus. 2019. Energiateollisuuden materiaalipankki, Energiavuosi 2018, verkkosivusto. Saatavissa (viitattu 28.3.2019): [https://energia.fi/julkaisut/materiaalipankki/energiavuosi\\_2018\\_-\\_sahko.html#material-view](https://energia.fi/julkaisut/materiaalipankki/energiavuosi_2018_-_sahko.html#material-view).
- [7] Energiateollisuus ry 2019. Kaukolämpö 2018 graafeina. Energiateollisuuden materiaalipankki, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 01.11.2019) [https://energia.fi/julkaisut/materiaalipankki/kaukolampo\\_2018\\_graafeina.html#material-view](https://energia.fi/julkaisut/materiaalipankki/kaukolampo_2018_graafeina.html#material-view).
- [8] A. Aslani, M. Naaranoja, P. Helo, E. Antila, E. Hiltunen. Energy diversification in Finland: achievements and potential of renewable energy development. International Journal of Sustainable Energy 2013, Vol. 32, issue 5, 2013, pp. 504-514.
- [9] Työ- ja elinkeinoministeriö 2014. Energia- ja ilmastotiekartta 2050, Parlamentaarisen energia- ja ilmastokomitean mietintö 16. päivänä lokakuuta 2014, Työ- ja

elinkeinoministeriön julkaisuja, Energia ja ilmasto 31/2014, 73 s. Saatavissa: <https://tem.fi/documents/1410877/2628105/Energia-+ja+ilmastotiekartta+2050.pdf/1584025f-c5c7-456c-a912-aba0ee3e5052/Energia-+ja+ilmastotiekartta+2050.pdf.pdf>.

- [10] Tilastokeskus 2017. Suomen virallinen tilasto (SVT): Energian hankinta ja kulutus, verkkosivu. Liitekuvio 4. Uusiutuvien energialähteiden käyttö 1970–2017. Saatavissa (viitattu 01.11.2019) [https://www.tilastokeskus.fi/til/ehk/2017/ehk\\_2017\\_2018-12-11\\_kuv\\_004\\_fi.html-](https://www.tilastokeskus.fi/til/ehk/2017/ehk_2017_2018-12-11_kuv_004_fi.html-).
- [11] Metsäteollisuus ry. 2019. Metsäteollisuuden tilastot Suomen metsävaroista, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 13.11.2019) <https://www.metsateollisuus.fi/tilastot/metsavarat/>.
- [12] Motiva 2018. Uusiutuva energia, bioenergia 2018, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 2.4.2019): [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/bioenergia](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia).
- [13] Kauppa- ja Teollisuusministeriön energiaosasto, Vesivoimatuotannon määrä ja lisaamismahdollisuudet Suomessa, Kauppa- ja Teollisuusministeriön selvitys, Helsinki 2005, 32 s. + liitt. 3s. Saatavissa (viitattu 25.3.2019): <https://www.motiva.fi/files/700/vesivoimatuotannon-maara-ja-lisaamismahdollisuudet-suomessa.pdf>.
- [14] YLE-uutiset 2018. R. Degerman, Tuulivoimaa seuraa haaste toisensa perään: tuki hupeni, vero nousi ja kritiikki voimistui, verkkouutinen. Saatavissa (viitattu 2.4.2019): <https://yle.fi/uutiset/3-10515933>.
- [15] Finsolar 2017. Aurinkoenergian tilastot, verkkosivusto. Saatavissa (viitattu 28.3.2019): <http://www.finsolar.net/aurinkoenergia/aurinkoenergian-tilastot/>.
- [16] Uusi Suomi 2019. Suomi kieltämässä kivihiilen 1.5.2029 – Rankin isku Helsinkiin, haukuttu Helen valittaa aikataulua, verkkouutinen. Saatavissa (viitattu 03.12.2019): <https://www.uusisuomi.fi/uutiset/suomi-kieltamassa-kivihiilen-152029-rankin-isku-helsinkiin-haukuttu-helen-valittaa-aikataulua/6f5837aa-cfb3-399e-ae15-35482e0240ea>.
- [17] D. Jacobs, Fabulous feed-in tariffs, Renewable Energy Focus, Vol 11, Iss. 4, 2010, pp. 28-30.

- [18] Laki uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta, L 30.12.2010/1396, 2010. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2010/20101396>.
- [19] Motiva 2018. Uusiutuvan energian vaikuttavuusarviointi 2016, verkkojulkaisu. Saatavissa (28.3.2019): [https://www.motiva.fi/files/13586/Uusiutuvan\\_energian\\_vaikuttavuusarviointi\\_2010-2016.pdf](https://www.motiva.fi/files/13586/Uusiutuvan_energian_vaikuttavuusarviointi_2010-2016.pdf).
- [20] K. Talus, "Veromalli syrjii isoa osaa suomalaisista" – Aurinkosähkön pientuotantoa keskitettävä, puheenvuoro, Tekniikka ja talous 2016. Saatavissa (viitattu 5.4.2019): <https://www.tekniikkatalous.fi/puheenvuorot/veromalli-syrjii-isoa-osaa-suomalaisista-aurinkosahkon-pientuotantoa-keskitettava-6306674>
- [21] European Commission. EU Emission Trading System (EU ETS), verkkosivu. Saatavissa (viitattu 01.11.2019): [https://ec.europa.eu/clima/policies/ets\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_en).
- [22] Sandbag. EU-ETS päästöoikeusien hinnan kehitys, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 04.12.2019): <https://sandbag.org.uk/carbon-price-viewer/>.
- [23] Wärtsilä 2019. Kohti 100-prosenttisesti uusiutuvaa energiaa käyttävää maailmaa, verkkojulkaisu. Saatavissa (viitattu 02.11.2019): <https://www.energyweek.fi/wp-content/uploads/2019/03/Kohti-100-uusiutuvaa-s%C3%A4hk%C3%B6j%C3%A4rjestelm%C3%A4%C3%A4.pdf>.
- [24] LUT-University 2019. Aurinkoenergia ja aurinkosähkö Suomessa, verkkojulkaisu. Saatavissa (viitattu 04.11.2019): [https://www.lut.fi/uutiset/-/asset\\_publisher/h33vOeufQQWn/content/aurinkoenergia-ja-aurinkosahko-suomessa](https://www.lut.fi/uutiset/-/asset_publisher/h33vOeufQQWn/content/aurinkoenergia-ja-aurinkosahko-suomessa)
- [25] Suomen Ympäristökeskus 2007. Bioenergian uudet haasteet Suomessa ja niiden ympäristönäkökohdat, Suomen Ympäristökeskuksen raportteja 11/2017. Saatavissa (viitattu 23.05.2019): [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39770/SYKEra\\_11\\_2007.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39770/SYKEra_11_2007.pdf?sequence=1).